1101

IL
PRINCIPIO DELLA ENTROPIA

DISCORSO

PRONUNZIATO IL 22 NOVEMBRE 1913

PER

LA SOLENNE INAUGURAZIONE DEGLI STUDI

NELLA

R. UNIVERSITÀ DI SASSARI

DAL

Prof. ALFREDO POCHETTINO

SASSARI
PREM. STAB. TIP. DITTA G. DESSÌ
—
1914

PROVINCIA DI TORINO
BIBLIOTECA
MV b 10264

IL
PRINCIPIO DELLA ENTROPIA

DISCORSO

PRONUNZIATO IL 22 NOVEMBRE 1913

PER

LA SOLENNE INAUGURAZIONE DEGLI STUDI

NELLA

R. UNIVERSITÀ DI SASSARI

DAL

Prof. ALFREDO POCHETTINO

SASSARI
PREM. STAB. TIP. DITTA G. DESSÌ
—
1914

Nel *De Natura Rerum* Lucrezio dice:

> . . . . . Quo nunc in motò principiorum
> Corpora sunt, in eodem anteacta aetate fuere,
> Et posthac semper simili ratione ferentur;
> . . . . . .
> Nec rerum summam commutare ulla potest vis.

Queste parole non sono certo da ritenersi l'espressione di un convincimento scientifico derivato dall'esperienza, ma più tosto l'enunciazione di un « Credo » riassumente l'intima aspirazione dell'indagine umana di tutti i tempi: scoprire il persistente, afferrare l'invariabile nella fuggevole varietà dei fenomeni, grazie alla quale si rivela a noi il mondo esterno. Solo molto più tardi la legge d'inerzia, il principio della indistruttibilità della materia, la dimostrazione della cosidetta stabilità del sistema solare, ecc. ecc., venivano a costituire quell'insieme di invarianze fondamentali, basato sull'osservazione e sulla esperienza, che poteva ben indurre Fourier a celebrare in un suo famoso discorso:

« un mondo disposto per l'armonia, per l'ordine, per la perpetuità ».

. . . . . Neque rursus in omne
Unde coorta queat nova vis irrumpere,

continua Lucrezio; e, come a confermare la profezia del vate latino, e a coronare l'edificio dell'immutabile, ecco infine sopraggiungere, verso la metà del secolo scorso, la proclamazione del principio della conservazione dell'energia. Così, al mondo della materia, dominato dalla legge di Lavoisier sulla conservazione della massa, ecco sovrapporsi, retto dal principio di Mayer, il mondo dell'energia: ci appaia questa o sotto forma cinetica come: moto, suono, luce, calore, corrente elettrica, o sotto forma potenziale nella attrazione fra masse gravitanti, nella tensione dei corpi elastici, o come attrazione chimica, carica elettrica, distribuzione magnetica ecc., sempre se scompare in una forma, ricomparirà in un'altra quantitativamente equivalente alla prima. Fissate tali leggi, sembrò a molti essere finalmente raggiunto uno dei principali scopi ultimi della scienza umana: formarci un'immagine completa, armonica del mondo esterno attribuente a questo la maggiore stabilità e conservazione possibile.

Eppure, anche prima che la legge della conservazione, o primo Principio della Termodinamica, abbracciasse definitivamente nella sua ferrea stretta tutto il mondo dell'energia, un'altra legge veniva man mano affermandosi: questa legge (chiamata poi: secondo Principio della Termo-

dinamica o Principio dell' Entropia), per la sua origine precipuamente tecnica e per la grande varietà delle forme sotto le quali venne successivamente enunciata, mal compresa da molti, sembrò pretendere di negare quanto faticosamente aveva conquistato la scienza, e contradire a quei principi di conservazione e di stabilità che formavano la generale ammirazione. Questa legge affermante che in ogni trasformazione di energia c'è qualche cosa che si perde, potè sembrare da principio troppo audacemente distruggere il bell' ideale di stabilità e di invarianza; e se alcuni, come Haeckel, non comprendendola bene, e ritenendola contradicente al principio della conservazione dell'energia, la proclamarono senz'altro falsa, molti non se ne occuparono addirittura. Potevasi infatti accettare una legge che veniva a proclamare la degradazione dell'energia, mentre filosofi e scienziati concordi affermavano: l'energia conservarsi sempre, e le variazioni possibili svolgersi soltanto con una universale tendenza al perfezionamento?

L'idea informatrice di questo II Principio della Termodinamica doveva però man mano conquistare il campo della scienza e, se ancora oggi taluno esita a riconoscerne l'assoluta generalità, tutti fanno uso di questa legge; con essa, come con pietra di paragone, cimentano i fatti osservati e le teorie avanzate, riconoscendole l'importanza di un principio fondamentale. Che più? uno dei fisici contemporanei più illustri, il Chwolson, è giunto a scrivere: « Io penso che la scoperta di questa legge è quanto di più alto abbia prodotto la mente umana in tutti i campi del sapere; che il pensiero fondamentale di questa legge è, filosofica-

mente, senza paragone, il più profondo e il più fecondo, ed ha il massimo significato per la conoscenza del mondo; e che nessuna scienza ha avuto un pensiero, un risultato che possa, per importanza e vastità, paragonarsi al II Principio della Termodinamica ».

Che cosa dice dunque questa legge? quali sono le sue conseguenze per il mondo che ci circonda?

Ecco quanto, certo solo per sommi capi, mi propongo di esaminare con voi, se vorrete essermi cortesi della vostra attenzione.

*
* *

L'osservazione quotidiana dei fatti che avvengono intorno a noi ci ha indotto ad ammettere che ogni fenomeno naturale dipende da un altro precedente e che in ogni mutamento del mondo sensibile esiste un certo legame fra uno stato qualunque e quello che gli succede; sorge così l'idea che qualche cosa passi dal primo stato al secondo coprendosi di nuova forma, di nuova apparenza, e formando fra i vari fenomeni di una stessa serie come un filo d'unione. Questo qualche cosa di persistente che si indovina nell'incostanza, questo qualche cosa di fisso che si intravede nella varianza, che passa da un corpo all'altro, che si trasforma, si divide, si accumula, che, direi quasi, circola da un fenomeno all'altro, ora latente, ora manifestantesi sotto forme diversissime, è quello che noi chiamiamo *energia*.

Poichè si è abituati a ricondurre tutti i fenomeni

che noi percepiamo alle varie trasformazioni di questa energia, molti ritengono che il concetto di energia, sia una nozione primordiale, innata quasi; ma quando, seguendo il naturale impulso del nostro intelletto, si tenta di precisare questo concetto, di *definire,* di *misurare* questa energia, allora ci si accorge che questa nozione non è affatto così semplice, talmente vasta ci appare subito la sua comprensione e tanto numerose sono le esperienze, delle quali dobbiamo supporre la realizzazione per acquistarne l'idea precisa; e che il valore di ciò che noi chiamiamo *energia* non è neppure suscettibile di misura diretta, ma ci si presenta di fatto sempre come il prodotto di due o più fattori, dei quali ciascuno corrisponde ad una grandezza che si misura separatamente. Non sembrerà quindi strano se la definizione più generale che di energia dà la Fisica non sia tanto semplice e contenga più di un punto la cui interpretazione richiede una somma di nozioni tutt'altro che primordiali, per quanto tutti siano d'accordo nel ritenere che l'energia di un corpo o di un sistema di corpi è una funzione univoca e continua del suo stato, ossia dell'insieme di tutte quelle proprietà che sono caratteristiche della posizione mutua, della velocità, della qualità, ecc., delle sue singole parti. Sentite infatti la definizione formulata dal Thomson ed ormai adottata nella Scienza come la più corretta: « *l'energia totale* di un corpo è il valore numerico di tutto l'effetto che esso potrebbe produrre in calore emesso e in resistenze vinte, se fosse raffreddato allo zero assoluto e ridotto in uno stato di contrazione o di rarefazione indefinita a seconda che le forze agenti fra le sue

particelle sono attrattive o repulsive, quando tutti i movimenti termici sono cessati in lui ». Ora è da notare che, malgrado tutti i nostri sforzi, lo zero assoluto, punto zero non arbitrario della scala dei livelli termici, non è stato ancora raggiunto; anzi tutto lascia supporre che, pur avvicinandovicisi continuamente, non lo raggiungeremo mai; quindi noi non possiamo e non potremo forse mai determinare l'energia totale di un corpo; « anzi, aggiunge il Thomson, non possiamo neppure esser sicuri che essa abbia un valore finito ». Per conseguenza tutto quello che possiamo fare è di confrontare l'energia di un sistema in un determinato stato con quella dello stesso sistema in un altro stato che assumiamo come termine di confronto.

Ad ogni modo possiamo sempre dire: un sistema, sottratto ad ogni azione esterna, possiede una quantità invariabile di energia, la quale può presentarsi sotto varie forme; qualunque fenomeno avvenga in quel sistema è dovuto ad uno scambio di energia fra le sue parti e ad una trasformazione di essa.

Dato ora un sistema, il senso, secondo il quale si svolgono le trasformazioni che in esso osserviamo, è casuale od obbedisce ad una legge? e, dato quest'ultimo caso, a questa legge può darsi una forma tale da abbracciare tutti i fenomeni che avvengono nel mondo accessibile alla nostra osservazione (1)? Risulta dall'esperienza che, perchè in un sistema avvenga una trasformazione energetica, è necessario che nelle varie parti del sistema stesso l'energia da trasformare si trovi a livelli, per es.: a potenziali, a temperature, ecc., diversi, e che a queste differenze di

livello sia dato il modo di egualizzarsi, cioè siano verificate certe condizioni, diremo così, funzionali nel sistema. Queste differenze di livello nel corso della trasformazione diminuiscono, mentre corrispondentemente *tendono* a formarsi delle differenze di livello nelle altre forme di energia in cui la prima si trasforma. Il risultato pratico concorde di tutte assolutamente le esperienze e le osservazioni finora eseguite è che, per i sistemi e nelle condizioni in cui si svolgono i fenomeni accessibili ai nostri sensi, ad ogni trasformazione di energia, una parte di questa, in ultima analisi, o rimane sotto forma di calore, se termica era la forma di partenza dell'energia, oppure, se altra era la forma dell'energia da trasformare, per le varie specie di attrito, che si verificano sempre nei fenomeni naturali, si trasforma in calore (2). Questa energia termica finale, *essendo impossibile il passaggio di per sè del calore da un corpo a temperatura inferiore ad un corpo a temperatura superiore,* tenderà per conduzione, per convenzione e per irraggiamento, a distribuirsi uniformemente (se non si trova già in seguito al processo uniformemente distribuita), cioè ad eguagliare le temperature delle varie parti del sistema. Il valore finale della temperatura importa poco, quello che ci interessa è il fatto che quando l'energia termica è distribuita in modo da corrispondere da per tutto ad una temperatura uniforme, essa si trova in uno stato pel quale, causa la mancanza di dislivelli, è incapace di ulteriore trasformazione.

In qualunque fenomeno avvenga dunque in un sistema materiale, l'energia totale di esso si conserva, ma una

parte passa in uno stato di calore uniformemente distribuito e perciò la sua capacità di trasformazione diminuisce, quindi: l'energia totale del sistema va perdendo di trasformabilità. Se chiamiamo *degradata* l'energia che ha perduta la capacità alla trasformazione, potremo dare alla legge da noi cercata la forma generale seguente:

In un sistema isolato i fenomeni si succedono in modo, che la parte trasformabile dell'energia ch'esso possiede va continuamente diminuendo, quella degradata continuamente crescendo.

È evidente dunque che in un sistema isolato non si potranno mai avere indefinitamente delle trasformazioni di energia, cioè:

Non è possibile l'esistenza di un Perpetuum mobile di seconda specie (3); poichè dopo un tempo sufficientemente lungo tutta l'energia del sistema sarà passata sotto la forma termica uniformemente distribuita; e ciò, ripetiamolo, possiamo sicuramente affermare in quanto che ci è ignoto in natura processo energetico alcuno, lo svolgimento del quale non sia accompagnato da qualche specie di attrito e in conseguenza da fenomeni di propagazione di calore.

L'energia totale di un sistema isolato, pur rimanendo costante, può dunque avere una diversa trasformabilità a seconda della sua degradazione; la diminuzione di questa trasformabilità, considerata come una quantità a sè, è *all'incirca*, quello che Clausius ha chiamato: *Entropia* del sistema. Posto che, come abbiamo visto, la trasformabilità dell'energia in un sistema va, nell'insieme dei fenomeni naturali, continuamente diminuendo, ci è lecito affermare che:

In tutti i processi naturali l'Entropia di un sistema isolato cresce.

Come si vede, questa legge, sotto qualunque forma venga enunciata, non tratta di un gruppo di fenomeni più o meno strettamente limitato, come avviene nelle leggi degli altri campi delle nostre scienze, ma ha la pretesa di abbracciare tutte indistintamente le trasformazioni che si producono nella parte del mondo esterno accessibile alla nostra osservazione.

Tutte le nostre deduzioni si fondano però su una proposizione fondamentale: Il passaggio di calore dai corpi freddi ai corpi caldi è impossibile di per sè; se non si fa cioè intervenire, come per esempio nelle macchine frigorifere, un'energia esterna. Questa proposizione viene ritenuta come un postulato: la dimostrazione della sua validità è più che altro fondata sul fatto, finora costantemente osservato, che nessun fenomeno naturale le riesce contraditorio; anzi dirò di più: tutte le volte che si è immaginato un sistema che sembrava sfuggire a quella proposizione, si è finito per scoprire un nuovo fenomeno che è venuto invece a confermarne la validità. Ricorderò, a titolo di esempio, che, proprio in questo modo il Thomson ha potuto valutare l'influenza della pressione sul punto di fusione e il nostro Bartoli ha potuto dimostrare la necessità dell'esistenza della cosidetta pressione della luce. Ad ogni modo, malgrado tutte le prove di validità, contro questo postulato fondamentale si sono diretti i tentativi di coloro che, prima di conferire al II Principio della Termodinamica l'attributo di naturale, ne hanno voluto cimentare in ogni

modo la incondizionata validità: questi tentativi portarono alla conoscenza di fatti che hanno gettato una nuova luce sul significato della nostra proposizione e ne hanno aumentata l'importanza filosofica.

La teoria cinetica ci rappresenta una massa gassosa, a temperatura uniforme, come costituita di un numero grandissimo di molecole moventisi in tutti i sensi con grande velocità. Questa velocità varia (causa gli urti delle molecole fra di loro e contro le pareti del recipiente che contiene il gas) da molecola a molecola, ed è per noi impossibile, nonchè prevederne, neppure seguirne le variazioni singole anche in una massa gassosa molto limitata; la sola velocità media ha un valore sensibilmente uniforme, quando si consideri per calcolarla un numero sufficientemente grande di molecole, e questa velocità media cresce al crescere della temperatura. Supponiamo ora che il recipiente contenente il gas sia diviso in due parti da una parete munita di un piccolo foro di dimensioni paragonabili a quelle delle molecole e che un essere, capace di vedere le molecole ad una ad una, apra e chiuda questo foro in modo da lasciar passare in una certa direzione solo le molecole a velocità superiore, e nell'altra solo quelle a velocità inferiore alla media. Dopo un po' di tempo una metà del recipiente conterrà molecole a velocità media superiore a quella delle molecole contenute nell'altra metà; allora nella prima parte regnerà una temperatura superiore e noi avremo, senza lavoro, divisa in due parti a temperatura diversa una massa gassosa primitivamente isoterma e quindi avremo violato il postulato base del II Principio della

Termodinamica, poichè l'impossibilità del passaggio di per sè del calore da un corpo freddo a un corpo caldo, porta seco l'impossibilità di produrre, senza lavoro, una differenza di temperatura in un mezzo a temperatura uniforme.

Quest'esempio di violazione del nostro principio dovuto al Maxwell, sebbene non realizzabile certo nella pratica, è grandemente istruttivo. La teoria cinetica ci dice che quello che noi chiamiamo temperatura di un gas dipende dalla velocità delle molecole, e ammette che, causa gli urti, questa velocità non sia la stessa per tutte le molecole, ma oscilli intorno ad un valore medio corrispondente alla temperatura del gas. Ma allora che significato diamo noi alla nostra ipotesi di partenza nell'esempio citato, che cioè la temperatura fosse uniforme nel gas? È evidente che noi non possiamo parlare di temperatura di ogni particella della massa gassosa, ma che quello che chiamiamo temperatura è un qualche cosa di medio, come il risultato di una statistica compiuta sulle condizioni di tutte le molecole occupanti lo spazio che è necessario per il funzionamento dei nostri apparecchi termometrici. La temperatura e, come essa la pressione, la densità, ecc. sono cioè concetti statistici; per confrontare quindi i risultati della teoria cinetica coi dati sperimentali occorre che consideriamo fenomeni estendentisi ad una regione dello spazio comprendente un numero di molecole sufficientemente grande perchè il loro stato medio, sfuggente a qualunque tentativo di previsione singola, sia determinabile in base a criterî di probabilità e a questa condizione corrisponde appunto la impossibilità dei nostri strumenti di misura di penetrare le singolarità molecolari dei fenomeni.

Le leggi che noi determiniamo in base all'osservazione, che chiameremo *macroscopica*, hanno per oggetto dunque concetti da noi idealizzati supponendo una omogeneità nella porzione di corpo che consideriamo, la quale non esiste in realtà e risulta, secondo i criteri cinetici, da una media statistica delle condizioni vere di un gran numero di particelle costituenti la porzione del corpo. Si comprende dunque come il risultato dell'esame del comportamento di ogni singola particella possa essere eventualmente diverso da quello di un insieme di particelle e così si spiega la difficoltà, sollevata dal Maxwell, alla validità del principio che ci occupa. Non è dunque assolutamente certo che le leggi, valide per i *macrostati* (4), siano valide anche per i fenomeni che si svolgono nei *microstati*, esse non rivestono di conseguenza che il carattere di probabilità e di probabilità tanto maggiore quanto più grande è il campo al quale estendiamo le nostre considerazioni.

Ora quando la validità di un principio è ridotta ad una questione di probabilità, per quanto grande sia quest'ultima, non è più assolutamente escluso il caso che, in certe determinate condizioni, la legge si trovi a non esser valida. La diversità fra energia trasformabile ed energia non trasformabile dipende insomma dalla natura delle differenze di livello sotto cui l'energia si presenta: queste possono essere *molari*, ossia riferirsi ad un *macrostato*, e allora sono capaci di trasformazione, oppure *molecolari*, ossia riferirsi a *microstati*, e allora può darsi il caso che esse non siano più capaci di trasformazione. Lo stato fi-

nale di un sistema dunque può avere ancora delle differenze di livello, ma solo quelle che possono sussistere fra molecola e molecola o magari entro la molecola stessa; queste differenze, al contrario delle molari, non si egualizzano, ma condizionano, come oscillazioni termiche, l'eterno scambio tra energia potenziale ed energia cinetica delle singole particelle ultime costituenti i corpi.

L'importanza di queste obbiezioni al II Principio della Termodinamica si è grandemente accresciuta con lo studio del moto cosidetto Browniano: Se si esamina al microscopio, o meglio all'ultramicroscopio, una goccia di acqua comune, essa mostra nel suo interno un movimento continuo; una moltitudine di particelle piccolissime, detriti di sostanze organiche e minerali, si muovono in tutti i sensi, senza fermarsi mai, con una velocità che è tanto maggiore quanto minori sono le dimensioni delle particelle. Questa agitazione Browniana, che viene a costituire una prova sperimentale diretta della teoria cinetica della materia, continua indefinitamente senza causa esterna; essa non costituisce però una contradizione al principio della conservazione dell'energia: basta che ogni variazione di velocità di un corpuscolo sia accompagnata da una variazione termica del liquido in prossimità del corpuscolo stesso, perchè non avvenga nè perdita, nè creazione di energia, e noi d'altronde non ci accorgiamo di queste variariazioni di temperatura perchè per noi il concetto di temperatura implica, come vedemmo, quello di equilibrio statistico. Ma costituisce una contradizione al II Principio perchè quest'agitazione Browniana non è che un *Perpetuum*

mobile di seconda specie vero e proprio, come quello corrispondente all'agitazione termica delle molecole, ma non più alla scala delle grandezze molecolari, ma ad una scala enormemente più grande. Possiamo quindi concludere che la validità del II Principio della Termodinamica sussiste alla scala di grandezza che ci interessa praticamente, e non sussiste più ove si vada ad indagare l'ultimo movimento delle singole particelle per le quali non hanno più senso gli elementi fondamentali: temperatura, pressione, ecc., sui quali siamo usi basare le nostre osservazioni, e dei quali ci serviamo per definire in ogni istante lo stato di un sistema qualunque. « In tal modo si vede, osserva Perrin, che l'importanza *pratica* del II Principio non è toccata e l'importanza teorica diventa più profonda » in quanto che si comprende come la sua validità sia legata addirittura alla struttura ultima della materia.

Voglio ora citarvi un esempio che vi chiarirà meglio come l'energia cinetica di un gran numero di molecole manifestantesi a noi come calore, possa, ove sia uniformemente distribuita, essere per noi degradata: L'aria contenuta in questa sala pesa circa cinque quintali; alla temperatura che vi regna, le sue molecole si muovono *in tutte le direzioni* con una velocità media di 500 $\frac{m.}{sec.}$, quindi l'energia cinetica totale della massa d'aria è dell'ordine di quella iniziale di un projettile dei più grossi cannoni ora in uso nella nostra marina. Come mai le pareti di questa sala resistono a tale enorme energia? un vento della velocità di 50 $\frac{m.}{sec.}$ è già un terribile uragano, eppure le particelle dell'aria che ci circonda si muovono con una

velocità dieci volte maggiore! La ragione della differenza, lo sapete certo, sta nel fatto che il movimento delle molecole di questa aria non è coordinato, ma si compie in direzioni diverse una dall'altra con grande uniformità, cioè con, in definitiva, nessuna prevalenza di una direzione sull'altra. Si comprende come non sia assolutamente impossibile che un bel momento tutti questi moti disordinati possano comunque trovarsi coordinati, cioè effettuarsi prevalentemente in una direzione, ma, per nostra fortuna, è un'eventualità estremamente improbabile. Si può calcolare che per avere qualche probabilità che un fenomeno di questo genere si verifichi in un semplice centimetro cubo di aria, bisognerebbe aspettare un numero di secoli rappresentato dall'unità seguita da parecchi miliardi di zeri e mi concederete che questo, *praticamente*, equivale a dire che è impossibile che il temibile fenomeno si verifichi.

A buon conto, volendo essere rigorosi, diremo che un tale coordinamento, oppure la formazione spontanea in una massa gassosa, a temperatura inizialmente uniforme, di una distribuzione di velocità molecolari tali da creare una differenza di temperatura fra due parti di detta massa, ecc., ecc., sono avvenimenti estremamente improbabili e che quindi il postulato di Clausius si può enunciare così: È estremamente improbabile che il calore passi di per sè dal corpo freddo al corpo caldo. E allora a tutte le forme sotto le quali si può enunciare il principio dell'Entropia basta aggiungere il carattere di estrema probabilità o la restrizione che ci riferiamo ai macrostati. Dall'esempio ora citato si vede inoltre che poichè l'energia termica, in ul-

tima analisi, non è che un moto delle ultime particelle costituenti i corpi, essa è tanto meno capace di trasformazione quanto più disordinato è quel moto e che la grandezza dell'Entropia è, in questo caso, come una misura del disordine di quel moto stesso.

Riassumendo, tutte le trasformazioni di energia si svolgono in natura con la tendenza a ridurre quella in calore; ora: poichè il calore non è che il moto delle ultime particelle costituenti i corpi, poichè questo moto si svolge nel senso di distribuirsi uniformemente cioè col massimo disordine, e poichè infine questo stato di massimo disordine è quello più probabile, cioè ogni ordine, ove non risulti da azioni esterne, riveste il carattere di improbabilità, potremo anche dire che tutte le trasformazioni di energia si compiono in natura sempre nel senso che conduce da stati meno probabili a stati più probabili e con ciò avremo dato al nostro principio la forma più generale, quella datagli dal Boltzmann.

*
* *

Ammessa la validità del principio dell'Entropia, si arriva *in pratica*, come vedemmo, a questa conclusione: un sistema materiale qualunque, *abbandonato a sè stesso*, non può mai passare due volte per lo stesso stato e deve necessariamente tendere verso uno stato finale nel quale tutto il movimento visibile e tutte le differenze di temperatura, di potenziale, ecc., saranno per sempre scomparse per far posto al calore, e quindi al solo movimento mole-

colare, uniformemente distribuito: insomma il sistema tende verso la cosidetta *morte termica*.

Clausius, formulato esattamente il principio della conservazione dell'Energia, enunciata e generalizzata la legge dell'Entropia, dopo avere, grazie all'esattezza degli enunciati, irrefragabilmente dimostrato non esservi contradizione di sorta fra queste due leggi fondamentali, giustamente orgoglioso di aver formulato principi così generali, deve aver avuto come un istante di abbagliamento di fronte allo splendore di verità assoluta di cui gli sembrava avvolto il risultato delle sue meditazioni, e, sollevato lo sguardo dal campo nel quale si erano aggirate le sue ricerche e gittatolo nelle tenebre profonde dell'avvenire e negli insondati abissi dell'infinito, ha proclamato: *l'Energia dell'universo è costante; l'Entropia dell'universo cresce continuamente tendendo verso un massimo*. Conseguenza inevitabile: *l'universo tende irremissibilmente alla morte termica!* E l'entusiasmo ben umano che faceva forse dimenticare a Clausius la circospezione onde deve essere sempre accompagnato l'esame sulla estendibilità di un principio al quale si vuole imprimere il carattere di naturale, ebbe a seguaci gli apologeti, i quali, su questo principio, poterono affermare la certezza di una fine e quindi di un principio dell'universo e per conseguenza la necessità dell'esistenza di un Ente creatore sopranaturale, così come due secoli prima, sulle orme di Cartesio, avevano invece affermato che quantità di materia e quantità di moto create « *ab initio* » sono sempre invariabili poichè soltanto la loro eterna immutabilità può accordarsi con la stabilità del Creatore dell'u-

niverso. Ma se destava entusiasmo da un lato, sollevava dall'altro l'incredulità dei filosofi materialisti, per i quali l'idea che l'universo possa finire, traente seco necessariamente quella ch'esso sia stato creato, è inammissibile.

Fin dove è giustificabile la fiducia degli uni, qual fondamento ha l'incredulità degli altri?

Molti per sostenere che l'universo non ha avuto inizio e non avrà mai fine, si basano sul principio di causalità, osservando che, se così non fosse, vi sarebbe un fenomeno, il primo che è avvenuto, senza causa, e una causa, l'ultima che si verificherà, senza effetto corrispondente (6).

Altri dicono invece: se l'universo esistesse da un tempo infinito, ogni fenomeno dovrebbe essere avvenuto, tutto ciò che poteva accadere dovrebbe già essere accaduto; ora, poichè l'esperienza quotidiana ci insegna che i fenomeni continuano ad avvenire, l'universo non può esistere da un tempo indefinito; con questo vengono naturalmente ad ammettere che l'energia dell'universo abbia un valore finito e allora sono in contradizione con la prima parte della legge di Clausius, affermante la costanza dell'energia dell'universo, poichè converrà ammettere che, all'inizio, tutta l'energia si sia formata d'un colpo (7).

Ora è da osservare che bisogna accogliere con molta diffidenza l'estensione all'universo intiero, che in questo modo si fa, di concetti, principî e proprietà, ai quali possiamo legittimamente attribuire una validità e un senso solo per i sistemi ristretti ai quali giunge la nostra osservazione diretta. Nel caso speciale dell'enunciato di Clau-

sius, le espressioni: *Energia dell'universo* ed *Entropia dell'universo* non possono avere significato per noi in quanto che *Energia* ed *Entropia* sono concetti di misura non appropriabili ad un caso in cui il loro valore non è nè determinato, nè determinabile. Se si potesse realmente determinare l'Entropia dell'universo in un qualunque istante, essa costituirebbe la vera misura assoluta del tempo: « infatti, scrive il Mach, dire: l'Entropia cresce col tempo, non è che fare una vera e propria tautologia in quanto che il fatto del tempo, e il fatto del potere le variazioni osservabili nel mondo esterno avvenire solo in un senso, sono la stessa cosa ».

Ora noi non sappiamo nulla dell'universo, neppure se possiamo concepirlo come un sistema a sè; anzi tutto lascia ritenere che il mondo materiale non ha limiti spaziali. Quindi ogni estensione ad esso di quanto si osserva nel mondo sensibile è cosa che non si può nè discutere, nè dimostrare poichè la Fisica è una scienza sperimentale e nessuno ha la facoltà di conferire ai suoi principi una generalità ed una precisione maggiore di quella che possiedono gli esperimenti che hanno servito di base alla dimostrazione di quei principi [8].

Nel caso speciale del principio dell'Entropia abbiamo visto come non sia assolutamente impossibile costruire dei sistemi in aperta contradizione con esso: è vero che la realizzazione di essi è estremamente improbabile e tanto più improbabile, quanto più grande è il numero delle particelle elementari costituenti il sistema; ma lo stesso parlare di probabilità di un avvenimento qualunque non

ha senso se non si suppone possibile, nelle stesse condizioni, l'assenza dell'avvenimento stesso.

Le infrazioni tangibili al principio dell'Entropia furono finora trovate possibili solo nel campo del molto piccolo, ciò che può far ritenere che esse siano di nessuna importanza nel caso che ora ci occupa: Arrhenius non è di questa opinione ed ecco in poche parole il ragionamento che egli fa nella geniale sua opera: *Il divenire dei mondi:*

Nei corpi celesti gassosi, nelle nebulose, può prodursi un fenomeno contradicente al principio dell'Entropia naturalmente e senza l'intervento di alcun demonietto Maxwelliano. Che cosa avviene nelle regioni estreme delle atmosfere degli astri? Là alcune molecole gassose possono avere una velocità sufficientemente grande da farle abbandonare per sempre la sfera di attrazione dell'astro alla cui atmosfera appartengono e continuare nello spazio la loro trajettoria. L'atmosfera perde così continuamente delle molecole gassose e si va impoverendo tanto più rapidamente quanto minori sono: la forza di attrazione dell'astro e la densità del gas che si considera; in tal modo forse la luna ha perduta tutta la sua atmosfera e la terra ha perduto l'idrogeno e l'elio che esistono ancora abbondantemente intorno all'enorme massa solare, ed ha conservato l'ossigeno e l'azoto che hanno una densità maggiore. Nelle nebulose, ove la gravità è relativamente piccola, questo fenomeno deve verificarsi in misura molto grande; le nebulose, perdendo le molecole più veloci, si raffreddano, mentre queste, venendo catturate da altri corpi celesti e condensandosi intorno ad essi, producono ca-

lore: ecco un processo nel quale l'entropia diminuirebbe. Senonchè l'analisi matematica ha permesso a Schwarzschild di dimostrare che la parte sfuggita alle nebulose non può avere che una temperatura inferiore a quella iniziale della nebulosa stessa; solo in certe condizioni affatto speciali può darsi che per questo fenomeno delle quantità notevoli di energia termica vengano convertite direttamente in energia potenziale, e perciò meno rapidamente degradabile, ma se per questi processi speciali la morte termica dei sistemi considerati potrà essere ritardata, si può fermamente ritenere che non sarà che *ritardata*.

Del resto, se queste considerazioni sul principio e sulla fine delle cose possono essere seducenti, se possono da un lato bene illuminarci sulla modestia della parte che noi rappresentiamo nel mondo e dall'altro incoraggiarci ad una certa superbia non fosse altro per aver osato di porci certi problemi, esse non possono condurci a risultati di qualche valore perchè, come abbiamo visto, noi siamo da esse trascinati ad uscire dallo stretto campo che è accessibile alla nostra esperienza e ad indurre conseguenze circa fatti che di troppo superano il campo in cui sono valide le nostre leggi, sulla cui base intendiamo svolgere quelle considerazioni. « Non c'è, è vero, più scienza se non facciamo generalizzazioni, dice Poincarè, ma ogni generalizzazione è un'ipotesi, mentre l'esperienza è l'unica sorgente di verità e, sola, può darci la certezza.

Senza voler profetizzare la fine dell'universo, ma limitandosi a considerare il nostro sistema solare, Lord Kelvin giunge, partendo dalla legge dell'entropia, ad una conclusione che ci interessa più da vicino. Egli dice:

« Vi è attualmente nel nostro sistema una tendenza alla degradazione dell'energia, e se questa è sempre sussistita e sussisterà sempre, la terra deve essere stata, in un'epoca separata da noi da un tempo finito, e sarà nell'avvenire, in un'epoca parimenti separata da noi da un tempo finito, impropria all'abitazione dell'uomo così come è costituito al presente; a meno che non abbiano avuto luogo o non siano destinate ad aver luogo delle operazioni che sono impossibili sotto l'impero delle leggi alle quali sono sottoposte le operazioni conosciute che hanno luogo attualmente nel nostro sistema. »

Eccoci dunque di fronte ad un dilemma ben malinconico per noi: o le nostre leggi fondamentali, la cui scoperta forma oggi il nostro orgoglio più grande e più giusto, perderanno un giorno la loro validità, o l'uomo, e con lui tutti gli esseri viventi, è destinato ad avere anch'esso, come gli Dei della nordica leggenda, il suo « Crepuscolo ».

*
* *

Concedetemi allora di esaminare un poco da vicino gli esseri viventi dal punto di vista del II Principio della Termodinamica. Ha questo principio piena e completa validità anche per il mondo vivente? costituisce esso forse quella gran legge (o almeno uno dei suoi aspetti) cui ubbidiscono tutti i fenomeni della vita, legge di sviluppo e di evoluzione che ha dominato il loro svolgersi nelle varie epoche geologiche e, secondo alcuni, ne ha condizionato anche il primo sorgere? In quell'insieme dei fenomeni

che noi chiamiamo *vita*, l'energia assume forme che noi non conosciamo e che siamo soliti comprendere col nome di *energia vitale*; fra queste trasformazioni ve n'è invece qualcuna che sfugga alla legge dell'Entropia? la sintesi degli idrati di carbonio, la formazione della complicatissima molecola degli albuminoidi non sono forse processi legati ad un aumento di trasformabilità dell'energia? La questione è sembrata ad alcuni talmente sicura che si è persino proposto di cercare in essa una definizione della vita (9).

La vita non è un processo chiuso in sè stesso, ma è un processo pel quale un sistema, l'essere vivente, è in continuo scambio di energia con altri sistemi, costituenti il mezzo ambiente: questo processo se presenta molte caratteristiche, ognuna delle quali, presa di per sè, si trova in grado maggiore o minore anche nella materia non vivente, ne presenta molte altre, non sempre facilmente definibili, che sono assolutamente speciali. Intanto richiede l'esistenza di un substrato materiale, il protoplasma, molto labile, capace di reagire alle trasformazioni dell'energia esterna mediante determinate trasformazioni dell'energia interna, dotato di una organizzazione particolare, grazie alla quale la reattività della sostanza fondamentale viene completata e resa più efficace. Lo studio della cellula, anzichè colmare, sembra avere scavato ulteriormente l'abisso che separa anche la più bassa forma vivente dal mondo non organizzato; man mano infatti che i nostri mezzi di osservazione si sono perfezionati, abbiamo visto dettagli più minuti: ciò che appariva amorfo, si è organizzato: i mec-

canismi si sono risolti in meccanismi più delicati; e (10) tutto ci appare, man mano che lo studio progredisce, come singolarmente adatto non solo per la semplice esistenza, ma per la conservazione, per lo sviluppo, per il perfezionamento che sono le caratteristiche dell'essere vivente. Gli esseri viventi infatti cercano, rispetto alle energie esterne agenti, di conservare la propria individualità, la propria struttura e funzionalità, malgrado la continua azione scambievole con altri sistemi; per modo che lo sviluppo dell'essere vivente contiene in sè il segno della persistenza, « contiene, come dice Bergson, il persistere del passato nel presente » (11).

Può quindi apparire un po' problematica la possibilità di spiegare, con ragioni puramente energetiche, perchè la struttura degli esseri organizzati e il protoplasma stesso siano così come sono, e di ricondurre la vita ad un semplice fenomeno fisico-chimico; che, presi isolatamente, molti fenomeni dell'essere vivente obbediscano alle leggi ordinarie della fisica e della chimica, è cosa indubbia risultante dall'esperienza quotidiana, ma non si può difendersi da una certa tendenza ad ammettere che, nel loro insieme, quei fenomeni, quelle funzioni contengano un qualche cosa di coordinato, di tendente ad uno scopo, anzi di preordinato e di assolutamente inesplicabile al lume delle sole leggi, finora note, vigenti per la materia (12): ad ammettere cioè l'esistenza di fattori, di elementi teleologici che ci si manifestano con quella tendenza alla conservazione e allo sviluppo che si osserva in tutti gli esseri viventi,

tendenza che non può essere [13] il risultato di una eredità rigidamente materiale del tipo di quelle che si considerano nelle teorie fisiche dei fenomeni elastici e magnetici, ma che ha prodotto negli esseri stessi i mezzi per opporre alle trasformazioni energetiche esterne le opportune trasformazioni energetiche interne e che conduce all'individualizzazione, elemento nuovo irriducibile alle semplici proprietà fisiche e chimiche.

L'osservazione di ogni giorno ci insegna dunque che la materia vivente tende alla conservazione di uno stato determinato di relativa stabilità, ma che questo stato può essere modificato, influenzato dalle forze esterne; e infatti negli esseri viventi noi osserviamo l'adattamento all'ambiente, cioè quel qualche cosa per cui, al cambiare delle condizioni esterne, l'essere vivente cambia la sua reattività ad esse in tale direzione da essere, anche nelle nuove condizioni, in grado di proseguire la sua esistenza in modo attivo. In questo adattamento, che potrebbe veramente servirci a definire la vita, noi troviamo una specie di reazione degli esseri viventi contro la degradazione dell'energia, in quanto che gli esseri viventi hanno la tendenza a rendersi sempre più indipendenti dall'entità delle trasformazioni energetiche esterne.

Non c'è, come si pretende da taluni, contradizione assoluta fra la dottrina dell'evoluzione degli esseri viventi e quella della degradazione dell'energia; noi dobbiamo piuttosto considerare l'evoluzione, almeno in parte, come una reazione contro il degradarsi dell'energia, in quanto che

man mano che si sale nella scala degli esseri viventi si vede sempre più svilupparsi la capacità di porre a servizio dei propri scopi biologici le più svariate energie esterne e di reagire a differenze di livello in queste sempre più piccole, ossia la capacità di aumentare sempre più la quantità di energia *utilizzata*.

Di più il fatto stesso che il processo vitale trovi in sè la possibilità di adattarsi alle mutate condizioni esterne ed assicurare così il suo perdurare, viene ad esigere che nelle ultime eterogeneità o differenziazioni (forse per noi mai visibili sufficientemente) sussistano una generale regolarità e delle relazioni di coordinazione e, direi quasi, di preordinazione che male si conciliano colla legge dell'Entropia, in quanto che l'andamento dei fenomeni fisico-chimici ordinari è sempre quello che conduce al pareggio delle differenziazioni esistenti e all'annullamento di ogni coordinazione.

La lotta generale per l'esistenza di tutti gli esseri viventi non è una lotta per le sostanze fondamentali (le sostanze fondamentali di tutti gli organismi sono in sovrabbondanza nell'aria, nell'acqua e nella terra) e neanche per l'energia (questa è abbondantemente contenuta in ogni corpo allo stato di calore), ma piuttosto è una lotta per l'energia trasformabile.

Il processo fondamentale dal quale direttamente o indirettamente dipende l'esistenza degli esseri viventi sulla terra è una sintesi che si compie in certi minuscoli laboratorî esistenti nelle cellule vegetali. Partendo dall'anidride carbonica e dal vapor acqueo, prodotti ultimi di ogni com-

bustione organica e quindi dai corpi più degradati dal punto di vista termodinamico, i vegetali riescono a compiere alla temperatura ordinaria la sintesi degli idrati di carbonio cioè una reazione restauratrice di energia chimica trasformabile, compiendo così una funzione essenzialmente anagenetica o elevatrice di grado dell'energia. Grazie a questa loro capacità, i vegetali sono gli esseri indipendenti per eccellenza, sono la base, il punto di partenza, la *conditio sine qua non* di tutto il resto del mondo organizzato. Che cosa esigono le piante per produrre questa sintesi? oltre l'anidride carbonica e il vapore acqueo, sempre presenti nell'atmosfera, *l'esposizione alla luce ordinaria*; e tutto: disposizione e forma delle foglie, capacità al fototropismo, adattamento cromatico complementare, tutto è mirabilmente disposto e organizzato nella pianta per utilizzare la luce nel miglior modo possibile. Dato ciò, non appare molto strana la domanda: come la luce può in tante reazioni chimiche diminuire il valore assoluto della viscosità e degli attriti, non potrà giungere nell'essere vivente fino a cambiarne il segno? se questo avvenisse nella fotosintesi delle piante si avrebbe proprio il processo tipico contradicente al principio dell'Entropia.

I tentativi fatti dall'uomo per riprodurre in laboratorio questa fotosintesi nelle stesse condizioni fisiche nelle quali è operata dalle piante, sono falliti. Negli ultimi anni Daniele Berthelot è riuscito, è vero, a riprodurre le principali operazioni della sintesi clorofillica, a temperatura ordinaria, senza addizione di reattivi specifici, e in assenza di materia vivente o derivata da essa, ma usando la

luce ultravioletta estrema, quella cioè che non è contenuta nella luce solare che giunge alla superficie terrestre perchè assorbita dall'atmosfera, quella che del resto direttamente sulla funzione clorofillica ha una azione relativamente molto piccola, quella infine che è la parte di *qualità*, ossia di trasformabilità, migliore dell'energia raggiante.

Ora la fotosintesi naturale avviene nell'essere vivente, sotto l'azione della luce visibile ordinaria, in presenza della clorofilla (14); quale è dunque la funzione della clorofilla?

Non sembra le si possa attribuire una funzione catalizzatrice perchè la funzione di catalizzatore, si limita ad accelerare le reazioni *nel senso* però delle ordinarie forze chimiche, mentre l'assimilazione del carbonio, alla temperatura ordinaria, è un processo che si effettua in senso contrario. Sebbene la sua presenza sia assolutamente necessaria, essa forse agisce come un sensibilizzatore, rendendo la sintesi, che avviene solo alla luce ultravioletta estrema, possibile anche alle radiazioni solari che possono giungere agli strati inferiori della nostra atmosfera. Potrà anche darsi che la possibilità del processo, nelle condizioni naturali, sia dovuta, come vorrebbe il Berthelot, ad uno spostamento dell'equilibrio fotochimico prodotto dalle azioni capillari nella pianta *vivente* (poichè la clorofilla estratta non è attiva), ma qui siamo nel campo puramente ipotetico e si sa così poco ancora sopra le modalità energetiche quantitative del fenomeno della fotosintesi che è giuocoforza confessare che, se l'uomo è riuscito a compiere una sintesi che sembrava esclusivamente appartenere

al dominio dell'*attività vitale*, ha dovuto ricorrere per ora a mezzi diversi da quelli di cui si serve l'umile granulo di clorofilla della pianta vivente e che il velo d'Iside che avvolge fitto il mistero di questa operazione primordiale della vita non è stato ancora sollevato (15).

Dal nostro punto di vista ad ogni modo noi possiamo dire che la fotosintesi è un processo anagenetico, è vero, ma che si compie sotto l'influenza della degradazione dell'energia solare; essa, come risultato, tende ad opporsi a questa degradazione; non vi riesce completamente, ma giunge a rallentarla e a renderla meno completa.

La reazione degli esseri viventi contro la degradazione dell'energia si rende molto bene visibile nella tendenza ad ottenere il massimo effetto col minimo sforzo. Negli atti meccanici generali, nel modo di intervento dei muscoli antagonisti, si riconosce evidente la preoccupazione incosciente e costante di ridurre al minimo la spesa totale di energia e la realizzazione volontaria o istintiva delle condizioni meccaniche che corrispondono a questo minimo; ma l'organismo vivente non si preoccupa solo di ridurre al minimo la spesa di energia totale, ma anche di ridurre al minimo possibile il consumo di energia fisiologica. L'organismo sembra distinguere questi due ordini diversi di condizioni, le une esterne di natura meccanica, le altre interne di natura fisiologica.

Del resto non si può pretendere di applicare alla cosidetta energia vitale, o fisiologica che dir si voglia, le considerazioni che si applicano alle altre forme di energia. I

due fattori che per le forme di energia non vitali hanno quasi sempre un significato ben netto e che servono per la applicazione del II Principio della Termodinamica alle loro trasformazioni, nel caso dell'energia vitale non sono definibili neppure con approssimazione. Il II Principio può solo dirci, per esempio, che gli animali non sono certamente da assimilarsi ad un motore termico nel senso termodinamico, ossia che in essi l'energia chimica si trasforma in energia meccanica senza passare per la forma termica: la forma di passaggio da quella chimica a quella meccanica non è ancora nota e il dirla *energia fisiologica* non è dare una spiegazione, non è che dire che la trasformazione si compie per l'intermediario di qualche altra forma di energia che non è così degradata come il calore; infatti il rendimento della macchina « uomo » può raggiungere fino il 35 % sebbene la differenza fra i suoi vari punti sia molto piccola, mentre il rendimento della più perfetta macchina termica a vapore, con una differenza di temperatura fra caldaia e condensatore di cento e più gradi non supera mai il 20 %.

Volete avere un altro esempio di trasformazione di energia, compiuta coll'intervento della vita, in modo enormemente più perfetto, dal punto di vista energetico, di quanto, malgrado i suoi studi, sappia far l'uomo, e di quanto, malgrado i suoi mezzi, possa operare la natura all'infuori dell'essere vivente? Uno dei problemi più importanti nella pratica è la produzione della luce fredda, ossia la produzione di una sorgente di luce, nella quale l'energia luminosa venga emessa senza essere accompagnata

da una enorme quanto inutile quantità di calore. I risultati relativi alle varie sorgenti luminose sono ben meschini: in un becco a gas il rendimento fotogenico è del 1,2 %, in una lampada ad arco voltaico del 2,5 %; che più? nel sole stesso questo rendimento salirà forse appena al 14 %. Ebbene le lucciole e in generale gli altri animali così detti luminescenti sono splendidamente organizzati per quell'emissione di luce visibile che l'uomo non riesce a compiere senza una grandissima degradazione di energia. Essi infatti non irradiano quantità sensibili di energia all'infuori di quella utile, cioè corrispondente allo spettro visibile e ancora di questo emettono solo la parte giallo-verde per la quale l'occhio presenta la massima sensibilità, raggiungendo così un rendimento fotogenico molto prossimo al 100 %.

*
* *

Una volta la temperatura della terra era certamente troppo alta perchè su di essa potesse sussistere la vita. Da quanto tempo è possibile la vita sulla terra? Il calcolo è stato fatto da Lord Kelvin, seguendo tre vie assolutamente indipendenti (16): risultato concorde è che se le leggi fisiche attualmente valide sono sempre rimaste tali, la vita, dato che essa anche allora avesse su per giù lo stesso campo di possibilità che ora, non può essere comparsa prima di 15 o 20 milioni di anni fa.

E come è nata la vita sulla terra? Ammettendo anche che la chimica sia giunta a tal punto da poter ri-

produrre, nelle stesse condizioni in cui operano gli organismi viventi, tutte assolutamente le sostanze che li compongono. (pur rimanendo nel solo campo dell'organico e lasciando da parte l'organizzato, la chimica ha finora imitato quasi soltanto i prodotti di rifiuto del processo vitale), riuscirebbe sempre dogmatico ammettere che la *vita* abbia avuto origine da un insieme di semplici fenomeni fisico-chimici quali quelli che noi conosciamo, checchè ne dicano coloro che nella non ammissione della generazione spontanea vedono la negazione del principio di causalità. Ci si può ben immaginare che durante processi fisico-chimici molto complicati si verifichino *transitoriamente* dei fenomeni che rispecchiano abbastanza fedelmente *l'immagine* di un essere vivente, ma, secondo la fisica statistica, è da ritenersi infinitamente improbabile che in un qualunque punto della terra abbia potuto cominciare un processo pel quale non solo si sia formata la prima massa di protoplasma, ma ad essa sia stata conferita la capacità di continuare indefinitamente formandone delle nuove, di evolversi, di reagire alle azioni esterne, e di adattarsi ai mutamenti di ambiente, nonchè la tendenza di opporsi alla degradazione della energia.

Allora se non si vuole ricorrere all'intervento di un Essere superiore alla natura e agente *contrariamente* alle sue leggi, quali almeno sono note a noi attualmente, ciò che costituirebbe una spiegazione almeno extrascientifica e l'ammissione di una discontinuità nella serie delle cause, converrà ammettere, come ammettono ormai molti fra gli stessi monisti, che la vita sia eterna come la materia e

che, come, secondo ritennero Thomson ed Helmholtz e dimostrò Arrhenius, non è assolutamente impossibile fisicamente, negli oscuri abissi dell'infinito vaghino tenui e leggeri, fra l'immane roteare dei vari sistemi, i germi della vita, i quali, ove vengano ad incontrare la sfera d'attrazione di un astro, cadono su di esso e, se lo trovano in condizioni adattate per la vita, danno luogo all'inizio di quella serie maravigliosa, della quale l'uomo si vanta di essere l'ultimo gradino. A questa ipotesi si viene indotti se si considera che, ripetiamolo ancora una volta, tutte le analisi mostrano la vita come una tendenza a risalire la via che percorre la materia non organizzata: essa è legata ad un organismo materiale che, come tale, è sottoposto alle leggi della materia non vivente (pur rinnovandosi continuamente nelle sue parti con rapidità più o meno grande), pure tutto avviene come se la vita, questo qualche cosa che persiste nel rinnovamento continuo dell'essere vivente e che presiede ad esso, facesse il possibile per reagire a queste leggi; essa non può rovesciare la direzione dei fenomeni fisico-chimici quale è fissata dalla legge dell'entropia, ma si comporta come una forza che, lasciata a sè, agirebbe in senso contrario; incapace di impedire l'andamento dei fenomeni materiali, si serve di taluni di essi per rallentarlo negli altri, insomma non apparisce in verità assolutamente inverosimile quanto dice il Bergson, che cioè: « tutti gli esseri viventi dall'ameba all'uomo, dal tempo delle prime manifestazioni vitali sulla terra al tempo attuale, in tutti i luoghi, non sono altro che la manifestazione di un unico impulso opposto al moto della materia ».

E finirà un giorno questa manifestazione vitale? col degradare continuo dell'energia si giungerà ad un momento in cui sussisterà sulla terra tanto poca energia trasformabile da rendere impossibile i fenomeni vitali? ha, in altre parole, la facoltà di adattamento degli esseri viventi alle condizioni esterne un limite che, anche per la degrazione relativa più lenta, non possa essere superato? Non si sa che cosa rispondere. Certo coll'adattamento la vita ha bisogno di sempre minore spesa di energia interna ed è capace di utilizzare in modo progressivamente sempre più redditizio, estendibile e completo le differenze di livello energetico che si presentano volta per volta; certo l'adattamento alle variazioni energetiche esterne dipende dalla velocità di queste variazioni e, se è vero il postulato di Clausius, una volta questa velocità è stata molto maggiore che non adesso e andrà in avvenire sempre diminuendo con che l'adattamento sarà sempre più facile.

Spencer definisce lo sviluppo dell'essere vivente come lo svolgersi contemporaneo di un processo di integrazione e di un processo di differenziazione; l'essere vivente infatti ha la tendenza ad aumentare continuamente la propria sfera di azione, tendenza che si esplica, come vedemmo, in due modi diversi: da un lato con la capacità di rendere utili ai propri scopi biologici campi sempre più vasti del regno dell'energia (integrazione), dall'altro lato con la capacità di penetrare sempre più addentro nelle infinite gradazioni e qualità di questa energia esterna (differenziazione) e di rendersene padrone; ambedue queste capacità tendono in fondo ad emancipare la vita da valori limiti costrin-

genti il campo della sua attività. Diciamo: *tendono ad emancipare*, perchè ogni processo vitale è legato all'attività chimica del protoplasma e affinchè questa si manifesti è necessaria la presenza di energia esterna trasformabile, sotto forma chimica, come fonte prima, e sotto forma termica, come agente di eccitazione, in quantità sufficiente. Non si giungerà quindi, come lascia intravedere il principio dell'Entropia, ad uno stato di cose così prossimo all'uniforme che questo sia impossibile? Allora anche il fatto che la degradazione dell'energia procede asintoticamente, e che quindi la degradazione assolutamente completa non si raggiungerà mai, gioverebbe poco e la morte generale arriverà inevitabile.

Quando si raggiungerà sulla terra questo valore limite della degradazione? Forse quando sarà spento il sole, l'unica sorgente fondamentale di tutta l'energia, alle cui trasformazioni si deve la massima parte dei fenomeni che osserviamo? Non bisogna dimenticare che, per manifestare la loro attività, gli esseri viventi reclamano dall'ambiente materia ed energia non solo, ma anche certe condizioni le quali fungono da eccitanti, che di questi il più importante è il calore, e che esiste un « optimum » di temperatura per i fenomeni vitali, in corrispondenza al quale l'essere vivente arriva a raggiungere la più alta funzionalità fisiologica. « Ma chi sa, dice Helmholtz, se i primi esseri viventi, abitatori del mare caldo sulla terra giovinetta, che noi dobbiamo considerare come nostri progenitori, non avrebbero considerato l'attuale mondo più freddo con altrettanto orrore come noi pensiamo ad un mondo senza sole? » chi

può dire se allora sarà raggiunto il limite dell'adattamento? Può ben darsi che per questi nostri lontani pronipoti, certamente costruiti per un equilibrio molto più fino, gli squilibri e gli estremi stessi di temperatura fra i quali noi viviamo, possono essere altrettanto enormi e distruttivi come ci appaiono gli antichi periodi geologici e che quindi lo spegnersi del sole non segni ancora il limite temuto.

E quali saranno questi ultimi esseri viventi? Forse l'uomo che ha saputo utilizzare forme di energia, come l'elettricità, inutilizzate in natura: che ne ha scoperto di quelle, come la luce ultravioletta estrema, che esistono sí in natura, ma fuori dell'ambiente in cui vive: che ha i mezzi per scoprire quantità sempre più piccole di energia non degradata; l'uomo che, armato del microscopio e del cannocchiale, del microfono, del galvanometro, della bilancia, può utilizzare, dominare un mondo sempre più vasto di energie, a differenze di livello sempre più piccole e di qualità sempre più degradata? O non potrà invece la vita ridursi in quelle forme latenti che ci sono rappresentate dalle spore, dai semi che possono resistere al freddo e al vuoto che riteniamo regnino negli spazi interplanetari, e che potrebbero così mantenere, vere vestali del sacro fuoco della vita, la possibilità di un risorgere di questa fin quando si dia l'improbabilissimo caso di una restaurazione di energia trasformabile? A queste domande non certo la Fisica può rispondere: non bisogna credere sia possibile di determinare, coi due principi della Termodinamica, in modo unico tutti i fenomeni naturali e sia

necessario escludere assolutamente la possibilità dell'esistenza di fattori attivi teleologici difficilmente conciliabili colle leggi della causalità fisica; nè il principio della conservazione dell'energia, nè l'altro stabiliente soltanto il senso secondo il quale avvengono i fenomeni fisici, nè i due insieme, nella forma almeno sotto cui ci sono noti per ora, formano la famosa legge universale che abbracci tutta la realtà. In quale nuova forma tenda a trasformarsi una data specie di energia, con quali modalità specifiche avvenga questa trasformazione sono questioni dipendenti da una serie complicata di fattori, che potremo chiamare condizioni di funzionamento, che di solito si vedono e si constatano caso per caso, ma per il modo d'agire dei quali non esiste alcuna legge generale.

Non potrebbe del resto, in ultima analisi, il concetto di causalità naturale essere affatto diverso da quello di causalità energetica, così come nel campo psichico, a detta di molti, il principio ordinario di causalità non è sempre valido? Non potranno un giorno scoprirsi in qualche luogo dei processi nettamente contradicenti a tutte le nostre leggi? Nella sua ultima forma il principio dell'Entropia non dichiara questo impossibile, ma solo estremamente improbabile.

*
* * *

In uno strano libro, recentemente pubblicato, Ostwald, al quale la scienza dell'energia deve moltissimo e per l'opera sua geniale di volgarizzatore e per le discussioni vi-

vaci cui ha dato origine la sua tempra di polemista forse talvolta un po' troppo paradossale, riassume quasi il frutto delle sue lunghe meditazioni sui principi dell'energetica in una formola che egli chiama: *l'imperativo energetico*. O giovani, a voi, ai quali la cerimonia d'oggi segna il principio di un periodo di lavoro fecondo, donde vi auguro possiate trarre quanto voi e noi desideriamo tutti, cioè il massimo rendimento possibile, mi sia permesso rivolgere, sotto forma di affettuoso consiglio, questo imperativo energetico: Non sciupate alcuna energia; cercate di utilizzarle tutte nella maggiore possibile misura e colla minore degradazione possibile!

La coscienza di aver ubbidito a questo precetto che è come il motto magico che rende possibile la realizzazione di qualsiasi ideale, vi sarà di grato sollievo ad ogni vostra fatica, di valido conforto in ogni avversità, di aiuto possente in ogni vostro lavoro, di sprone e di guida ad aumentare ogni vostra attività.

NOTE

(1) Di tale questione il I Principio della Termodinamica non si occupa affatto tranne in caso singolarissimo, cioè nel caso in cui il sistema considerato si trovi in uno stato pel quale l'energia, in esso sistema contenuta, abbia un valore massimo o minimo assoluto.

(2) Si vede quindi che l'energia termica si differenzia da tutte le altre forme di energia in quanto che in essa si può avere una caduta di potenziale senza che una parte dell'energia stessa cambi di forma.

(3) Un sistema nel quale avvengono continuamente delle trasformazioni di energia si chiama (Ostwald) un Perpetuum mobile di II specie per distinguerlo dal Perpetuum mobile di I specie nel quale si crea dell'energia e la si utilizza per far funzionare una macchina qualunque, ciò che costituisce una contradizione al principio della conservazione dell'energia.

(4) Chiamiamo *macrostato* l'insieme delle caratteristiche che si riferiscono ad una porzione relativamente grande di materia, e *microstato* l'insieme delle caratteristiche che definiscono il comportamento delle singole particelle ultime costituenti i corpi.

(5) I fenomeni della radioattività sembrarono ad un certo momento rappresentare una evidente contradizione pratica con la nostra legge. La trasformazione dell'emanazione di radio in elio aveva già dato un colpo formidabile alla legge dell'invariabilità dell'atomo chimico: come affermare più per esempio che « l'atomo di ferro è sempre lo stesso sia che in una meteorite percorra gli spazi celesti, sia che nella pesante ruota divori sonoro gli spazi terrestri, sia che nel globulo sanguigno attraversi la fronte del poeta? ». Il radio questo corpo meraviglioso emettente luce, calore, e radiazioni elettriche dotate di proprietà così strane, non costituisce esso stesso una potente violazione a tutti i nostri principi fondamentali? Ma ecco scoprirsi che il radio si trasforma continuamente e come esso si trasformano tutte le altre sostanze radioattive note, e che queste trasformazioni successive si compiono sempre con una continua degradazione di energia. Se dunque la scoperta della ra-

dioattività ha portato alla conoscenza di inaspettate, immense quantità di energia immagazzinate nell'atomo e con ciò venne provato che la materia contiene una quantità di energia, della quale non ci si poteva prima render conto, non è men vero che anche quell'energia si degrada e che gli stessi fenomeni della radioattività, almeno quelli finora osservati, si compiono sempre in un certo ordine e giammai in senso inverso.

(6) Del resto tutte le cosmogonie antiche e quasi tutti i filosofi dell'antichità, specialmente Empedocle e Democrito, hanno più o meno ritenute eterne la materia e le sue manifestazioni; San Tommaso stesso col suo celebre detto: *Mundum non semper fuisse sola fide tenetur*, viene a dire che nessuna cognizione naturale può condurci alla conclusione che il mondo abbia avuto un principio.

(7) A meno che non si voglia supporre che l'energia trasformabile si trovi nell'universo in quantità infinita e di un ordine tale che malgrado l'infinità del tempo già trascorso, i fenomeni possano ancora svolgersi per un tempo infinitamente lungo; ma non bisogna paragonare fra loro gli infiniti come siamo usi paragonare le quantità finite poichè, anche se la nostra fantasia può permetterci certe illazioni, la nostra ragione ci impedisce di misurare, paragonare, calcolare fuori delle condizioni di spazio, di massa, di tempo alle quali sono applicabili i metodi sperimentali diretti.

(8) Fra tutti i principi fa eccezione il principio di causalità poichè, una volta ammessa, è una legge che precede ogni esperienza in quanto che noi non possiamo avere conoscenza alcuna di oggetti e di fenomeni naturali senza che in noi agisca già la legge di causalità, la quale per conseguenza non può essere dedotta nè dall'esperienza, nè dall'osservazione e quindi non dovrebbe da queste subire limitazioni di sorta.

(9) Noi abbiamo visto che là dove ci fosse la possibilità di agire sopra le singole particelle ultime costituenti un corpo, il principio dell'Entropia perderebbe la sua validità; non potrebbe essere questo il caso nei fenomeni vitali che dipendono certamente da condizioni strutturali minutissime? Mediante la semplice osservazione materiale noi non abbiamo un criterio per stabilire se un oggetto è vivente oppure no: a parte i casi presentati dalle spore, dei semi, da certe uova, che sono veri esempi di vita latente, non bisogna dimenticare che tutte le nostre osservazioni dipendono dalla potenza dei nostri organi dei sensi e degli strumenti che li soccorrono; questa però ha un limite e questo limite è oramai nel campo del molto piccolo: ha anche la vita un limite inferiore nel campo del molto piccolo? e questo limite non è precisamente là dove, come dimostra l'esempio del moto Browniano, cessa la validità del principio dell'Entropia?

(10) Questa differenziazione si è forse prodotta casualmente? no, certa-

mente: se giudichiamo almeno dai risultati degli studi compiuti anche su organismi molto semplici, siamo indotti ad ammettere invece la necessità che certe parti si subordinino ad altre, quindi ecco saltar fuori il fatto fondamentale che la cellula vivente si comporta differentemente dalla materia bruta, la quale pur potendo assumere forme diversissime, non arriva mai a creare sistemi le cui varie parti, pur avendo origine e composizione comuni, siano legate fra loro da certe relazioni di subordinazione; subordinazione che, come stato di equilibrio sia pure mobile, è in aperta contradizione col principio dell'Entropia.

(11) Che cosà abbiamo noi davanti quando studiamo un essere vivente, per esempio, l'ameba, l'infimo degli esseri viventi? Se consideriamo l'ameba come un semplice insieme di sostanze chimiche, è evidente che potremo senz'altro applicare alle sue manifestazioni tutte le nostre leggi della fisica e della chimica; ma ci è lecito far questo se la consideriamo come il primo gradino degli esseri viventi? noi con ció introduciamo un certo qualche cosa che non possiamo osservare direttamente, cioè l'idea che in questo ente c'è la capacità di diventare il primo termine di una serie di esseri in sviluppo progressivo, ed è evidente che con ciò noi supponiamo una semplice possibilità che nessuno ha mai osservato direttamente e che noi non possiamo ritenere neppure semplicemente probabile se non a prezzo di deduzioni e di induzioni non semplici, la cui accettabilità non è per anco assolutamente fuori di dubbio.

(12) Tanto più poi quando si pensi alla sproporzione enorme, esistente in ogni essere dotato di vita, fra la funzione e la materia qualunque sia la natura della funzione; infatti noi vediamo continuamente che la vita con un numero di elementi molto più ristretto di quello che utilizza la natura, all'infuori dell'essere vivente, produce delle opere relativamente molto più potenti.

(13) Questo modo di vedere si differenzia da quello solito delle scienze esatte classiche le quali non ammettono (solo ora nella fisica si incomincia a introdurre sistematicamente il concetto di eredità nei fenomeni elastici e in quelli magnetici) che passato e futuro entrino nell'andamento delle cose e possano influenzare la legge di causalità ma ritengono che in prima ed unica linea abbia importanza lo stato presente: « per esse, dice Helmholtz, ciò che si svolge nell'istante presente è la causa unica assoluta di ciò che avverrà nel prossimo momento e quindi nella catena dei fenomeni naturali ogni termine dipende in tutto e per tutto dall'anello precedente e su tutti domina strettamente la teoria infinitesimale nello spazio e nel tempo ».

(14) Notiamo che la luce compie nella pianta una duplice funzione: provoca la formazione della clorofilla e poi, mediante questa, provvede alla fotosintesi.

(15) I primi che vollero scorgere nella funzione clorofillica una contraddizione col II Principio della Termodinamica credevano che le piante prendessero l'energia necessaria alla fotosintesi dall'atmosfera circostante sotto forma di energia termica alla temperatura ordinaria, cioè, in media, di 15° circa; ma l'esame dello spettro di assorbimento della clorofilla ha mostrato che non è dall'atmosfera che la pianta prende quest'energia termica che le è necessaria, ma dal sole, cioè da una sorgente a temperatura elevatissima, e che la degradazione che subisce l'energia solare nell'attraversare le foglie verdi è il fenomeno compensatore del processo anagenetico della fotosintesi.

(16) *a*) Partendo dallo studio del calore interno attuale della terra quale ce lo svelano le determinazioni della temperatura del suolo alle diverse profondità e quindi, data la conducibilità termica dei materiali che compongono la crosta terrestre, deducendo quale dovesse essere la temperatura probabile dei suoi strati superficiali nei tempi passati e conseguentemente in che epoca la temperatura sulla terra permise le prime manifestazioni vitali;

b) Mediante il calcolo del ritardo che la marea, per attrito, fa subire al movimento di rotazione della terra, e quindi valutando detta velocità nei tempi passati per calcolare l'epoca alla quale, dato lo schiacciamento ai poli della terra, questa stava solidificandosi, donde poi dedurre l'epoca corrispondentemente alla quale, in seguito al raffreddamento, la temperatura regnante sulla terra consentì la vita;

c) Tentando di valutare la temperatura attuale del sole per poi dedurne il tempo durante il quale il sole può avere col suo raggiamento prodotto sulla terra condizioni termiche tali da permettere lo svolgersi dei fenomeni vitali.

BIBLIOGRAFIA

ARRHENIUS S. *Das Werden der Welten. Leipzig. 1908.*

ARRHENIUS S. *Das Schiksal der Planeten. Leipzig. 1911.*

AUERBACH F. *Die Weltherrin und ihr Schatten. Jena. 1902*

BERGSON H. *L'évolution créatrice. Paris. 1906.*

BOLTZMANN L. *Populäre Schriften. Leipzig. 1905.*

BOUTY E. *La vérité scientifique. Paris. 1908.*

BOUTROUX E. *De la contingence des lois de la nature. Paris. 1913.*

BRUHNES B. *La dégradation de l'énergie. Paris. 1909.*

CHWOLSON O. D. *Hegel, Haeckel, Kossuth und das 12ter Gebot. Braunschweig. 1906.*

CLASSEN L. *Das Entropiegesetz. Godesberg bei Bonn. 1910.*

DUHEM P. *Théorie thermodynamique de la viscosité. Paris. 1906.*

HAECKEL E. *Die Welträtsel. Bonn. 1903.*

v. HARTMANN E. *Weltanschauung der modernen Physik. Leipzig. 1902*

HELMHOLTZ H. *Vorträge. Braunschweig. 1876.*

ISENKRAHE K. *Energie, Entropie. Trier. 1910.*

MACH E. *Die Prinzipien der Wärmelehre. Leipzig. 1896.*

OSTWALD W. *Vorlesungen über Naturphilosophie. Leipzig. 1901.*

OSTWALD W. *Das energetische Imperativ. Leipzig. 1912.*

STERN W. *Der IIte Hauptsatz der Energetik. Zeit. f. phil Bd. 121. 1903.*

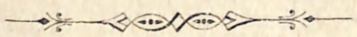
TAIT P. G. *Conférences. Paris. 1887.*

POINCARÉ H. *La Science et l'hypothése. Paris. 1902.*

POINCARÉ L. *La Physique moderne. Paris. 1910.*

THOMSON W. *Mathematical and Physical Papers. I. p. 222.*

ZÖLLNER J. C. F. *Ueber die Natur der Cometen. Leipzig. 1872.*



PROVINCIA DI TORINO
BIBLIOTECA
83584